Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Ultrafiltração

Projeto FEUP 2014/2015 - Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente:

Coordenadores gerais: Armando Sousa e Manuel Firmino
Coordenador de curso: João Bastos

Supervisor: José Miguel Loureiro   Monitor: António Vilanova

Data de entrega: 31 de Outubro

Autores do grupo MIEA101_02:

Ana Esteves up201405959@fe.up.pt
Marta Garcia up201404052@fe.up.pt
Diana Cardoso up201405073@fe.up.pt
Mónica Ramos up201403911@fe.up.pt
Joana Monteiro up201405463@fe.up.pt
Pedro Ribeiro up201405524@fe.up.pt
José Adães up201407744@fe.up.pt

Resumo

No presente trabalho estudou-se a importância do processo de ultrafiltração no tratamento de águas residuais domésticas, efluentes industriais e águas para consumo humano. Os principais processos de membranas abordados foram: a microfiltração, a osmose inversa, a nanofiltração e a ultrafiltracão.

No trabalho experimental utilizou-se um efluente produzido em laboratório para simular um efluente industrial com uma concentração de óleo de corte de 5%. Realizaram-se várias medições de caudal às pressões de 0,99 e 2,74 bar para se obter o caudal médio para as referidas pressões. Mediu-se o caudal em intervalos de 5 minutos, tendo sido efetuadas seis medições para cada valor de pressão. Para se medir o caudal, utilizou-se uma proveta e registou-se o valor do volume de permeado ao fim de 30 segundos. Registou-se também o valor da temperatura e de seguida e calculou-se o valor da percentagem de rejeição em cada ensaio.

No final concluiu-se que a pressão influenciou o caudal ao longo do tempo pois da experiência 1 para a experiência 2 o caudal aumentou aproximadamente 4,869 L/min. A temperatura também interviu no processo de filtração tendo um aumento de 18,3 ^{o}C para uma variação de pressão 0,99 bar para 2,74 bar.

Palavras-Chave

Ultrafiltração; membranas; microfiltração; nanofiltração; osmose inversa.

Índice Geral

Índice de figuras e Índice tabelas

Índice de figuras

Índice de tabelas

Nomenclatura

NF - Nanofiltração

OI - Osmose Inversa

UF - Ultrafiltração

Cali – concentração de soluto no permeado (mg/l)

Cp – concentração de soluto na alimentação (mg/l)

Qexp – caudal de permeado (l/min)

t – tempo (segundos ou minutos)

T – temperatura (°C)

V – volume (ml)

1. Introdução

Uma membrana consiste numa barreira permeável e seletiva entre duas fases diferentes, restringindo a transferência de massa, ou seja, permitindo a passagem de determinados materiais ao mesmo tempo que impede a passagem de outros, efetuando-se assim o processo de separação.

Os processos de separação por membranas são usados para separar, concentrar e purificar espécies presentes nas diferentes correntes envolvidas. Assim graças à membrana e à sua seletividade a passagem de determinadas moléculas ou partículas é restringida. [1]

Até meados do séc. XX a ciência das membranas era uma área pouco aprofundada e com poucas aplicações práticas e foi apenas há cerca de 50 anos que os processos que envolviam as mesmas começaram a desenvolver-se. [2]

Hodiernamente, os processos de separação por membranas têm vindo a assumir um papel cada vez mais relevante na nossa sociedade, papel esse que se estende a diversas áreas do saber. Estes processos estão presentes em áreas tão variadas como as indústrias química, alimentar e farmacêutica, a biotecnologia, a medicina e, aquela na qual o nosso trabalho se irá focar mais, o tratamento de águas residuais domésticas, efluentes industriais e águas para consumo doméstico. [1]

Estes métodos apresentam uma série de vantagens relativamente aos métodos clássicos de separação na medida em que possuem custos energéticos inferiores, não envolvem mudança de fases e funcionam bem à temperatura ambiente. [3]

Devido ao elevado nível de urbanização existente nos países de todo o mundo, ao nível elevado de poluição das águas e a um consumo cada vez maior dos recursos hídricos torna-se vital o tratamento de águas quer residuais, quer industriais quer de abastecimento.

Existem diversos processos de separação por membranas que podem ser usados no tratamento dessas mesmas águas de entre os quais podemos destacar a microfiltração, a osmose inversa, a nanofiltração e a ultrafiltração. [4]

Sendo assim conclui-se que todas estas tecnologias que envolvem membranas são de grande interesse do ponto de vista ambiental na medida em que permitem a reutilização de recursos, e possuem baixos consumos energéticos

É neste contexto que surge este relatório que se foca na ultrafiltração de uma emulsão contendo óleo e água. Um dos principais objetivos da experiência laboratorial e subsequente relatório é comprovar a utilidade e a eficiência dos processos de filtração que envolvem membranas. Pretende-se com o mesmo demonstrar a utilidade das membranas

bem como a sua contribuição para a conservação do meio ambiente e a tratamento de efluentes.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Contexto teórico

É, de facto, notável a relevância que, cada vez mais, as tecnologias membranares assumem na era moderna. Estas tecnologias, como pode ser facilmente deduzido, têm como base principal o processo de filtração, ou seja o processo que permite separar um sólido de um líquido com o recurso a um meio filtrante, meio esse que pode ser pode poroso consolidado (como um filtro de papel) ou poroso não consolidado (que pode surgir na forma de granulado ou pó). Cria-se então facilmente, recorrendo à definição de membrana usada anteriormente, uma analogia entre os meios filtrantes e as membranas. [5]

As membranas sintéticas surgiram como tentativa de imitar as membranas naturais e aumentar a eficácia da filtração devido ao seu poder de seletividade e baixos consumos energéticos. Foi no séc. XVIII com Nollet e Dutrochet que os estudos acerca das membranas e mais concretamente acerca da osmose começaram. Apesar de mais estudos se terem seguido, foi apenas no séc. XX que as membranas começaram a ter aplicações comerciais que se centravam essencialmente na microfiltração e na diálise. [6]

Foi apenas na década de 50 que os processos de separação por membranas deixaram de ser apenas uma curiosidade e passaram a ser encarados de uma forma mais séria. Nos E.U.A surgiu um plano de pesquisa sobre a dessalinização da água e foi no âmbito do mesmo que em 1953 Reid e Breton relataram que usando uma membrana de acetato de celulose na osmose inversa obtiam uma grande retenção salina. [6]

Mais tarde em 1960 Loeb e Sourijajan, recorrendo a uma membrana assimétrica, aumentaram a eficácia dos processos de separação por membranas fazendo com que estes se tornassem mais interessantes do ponto de vista da eficácia comparativamente com os métodos de separação tradicionais. Nas décadas seguintes muitas empresas realizaram estudos acerca destas tecnologias, sendo que desde então estas evoluíram imenso. [5] [6]

Desde então até agora o mercado das tecnologias membranares evoluiu imenso sendo que o seu valor aumentou desde 1,5 milhões de euros no final da década de 60, até

cerca de 3,5 milhares de milhões de euros no início do ano 2000 e tendo vindo a crescer cada vez mais desde então. [6]

A membrana consiste numa barreira permeável e seletiva entre duas fases diferentes, restringindo a transferência de massa, ou seja, permitindo a passagem de determinados materiais ao mesmo tempo que impedem a passagem dos outros, efetuando-se assim o processo de separação. [1]

Existem vários tipos de membranas: em espiral, as fibras ocas, tubulares. Cada tipo de membrana é utilizado conforme o processo que se vai utilizar ou as diferentes aplicações que se pretende, mas também conforme a relação preço/eficácia. [7]

A transferência das moléculas ou partículas selecionadas pela membrana acontece devido à aplicação de uma força motriz através da membrana. A força motriz resulta de gradientes de pressão, concentração, temperatura ou potencial elétrico.

Os processos mais importantes que envolvem a aplicação de uma pressão para o transporte dos compostos são: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa. Estas técnicas são idênticas, diferindo apenas no tamanho das partículas separadas e nas membranas que são utilizadas. [1]

Estes métodos de filtração diferenciam-se pelo tamanho dos compostos que são capazes de reter. De um modo geral, as membranas podem ser divididas em dois grandes grupos: as membranas densas (ou não-porosas) das quais fazem parte a Osmose inversa e a Nanofiltração e as membranas porosas das quais fazem parte a Microfiltração e a Ultrafiltração. As membranas porosas separam as partículas por tamanho. Os processos de produção industriais permitem a produção de membranas com poros virtualmente de qualquer diâmetro. Em 1985, a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) estabeleceu critérios para a classificação das membranas porosas. Aquelas capazes de separar sólidos de diâmetro superior a 50nm recebem o nome de Microfiltração. Aquelas com poros entre 2 e 50nm pertencem ao grupo de Ultrafiltração. As membranas de Osmose Inversa são as mais restritivas dentro desta classe com eficiências da ordem de 99,7% para cloreto de sódio. As membranas de Nanofiltração situam-se em uma faixa intermediária entre as densas e as porosas (<2nm) realizadas a separação pelos dois processos. [8]

Os processos de separação por membranas têm aplicações em várias áreas como por exemplo na medicina, na biologia, nas indústrias químicas e de alimentos e também em farmacêutica. [9]

As tecnologias de Microfiltração, Ultrafiltração, Nanofiltração e Osmose inversa são complementares e a aplicação de uma delas, ou de várias, em muitos casos é necessária dependendo do produto final que se quer atingir. A separação e a corrente a serem trabalhadas variam de caso para caso. Não existe uma tecnologia melhor do que a outra e

sim a tecnologia que mais se adapta ao objetivo da separação em uma aplicação específica. [8]

2.2 Tipos de processos de membranas

2.2.1 Microfiltração

A microfiltração é uma técnica de separação usada na remoção de partículas em suspensão, nomeadamente na clarificação e na remoção de bactérias, usando membranas com diâmetros de poro entre os 50 e 100 nm, sendo o mecanismo de transporte presente o usualmente chamado "efeito peneiro", onde as moléculas com um raio superior ao raio do poro da membrana são rejeitadas, passando as moléculas com raios inferiores. É, portanto, retida parte da contaminação viral. Embora os vírus sejam menores que os poros da membrana de microfiltração, muitos se agrupam às bactérias e, por isso, acabam retidos num conjunto. Deste modo, consegue-se reduzir de forma significativa a turbidez da água. Existem duas maneiras para que haja a retenção: passagem da água através de um material poroso ou de uma membrana. [8]

Na Figura 1 é apresentado um esquema do processo de microfiltração.
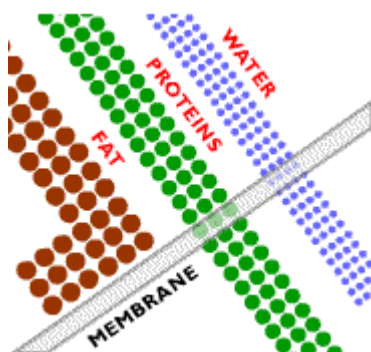
Figura 1 – Esquema de um processo de microfiltração [4]

Pode-se produzir de duas maneiras e fluxo diferentes: "dead end" ou "crossflow". Os filtros "dead end" funcionam quando uma corrente de água passa através dele e a partir daí acumulam-se sólidos sobre a superfície e no interior do meio filtrante, e se obtém uma corren0te de água produto. Os "crossflow" permitem obter duas correntes ao passar numa vazão de água através do filtro: uma que flui paralela à membrana arrastando os sólidos retidos, e a outra, purificada, que passa através dela. [8]

A microfiltração é utilizada largamente em tratamento de água para abastecimento (clarificação), em tratamento de efluentes (MBR), na fermentação, clarificação de caldos e

na clarificação e recuperação da biomassa. Este processo remove a maioria dos patogénicos e contaminantes. As vantagens potenciais em relação ao tratamento convencional são:

- Produção de água com qualidade superior;
- Adição de quantidade bem menor de produtos químicos;
- Requer menor energia para operação e manutenção;
- Proporciona projeto e construção de sistemas compactos, fáceis de serem implantados. [8]

2.2.2 Nanofiltração

Nanofiltração (NF) é um dos processos de separação por membranas que utiliza diferença de pressão como força de motriz. Neste caso, os valores de pressão utilizados estão entre 5 a 35 bar. É um processo recente e em constante desenvolvimento. [8]

Os métodos aplicados neste processo, com o objetivo de separar solutos orgânicos de baixo peso molecular (entre 200 e 1000 Dalton) ou de se efetuar desmineralização, são a exclusão e a difusão. [5]

A nanofiltração possibilita a difusão de iões monovalentes, de água e de certas soluções iónicas. Retendo assim moléculas complexas e espécies iónicas maiores, tal como se mostra na Figura 2. As membranas utilizadas neste método são as membranas em espiral e as membranas tubulares. Por vezes, esta tecnologia poderá ser comparada à osmose inversa mas para moléculas de maiores dimensões. [4]
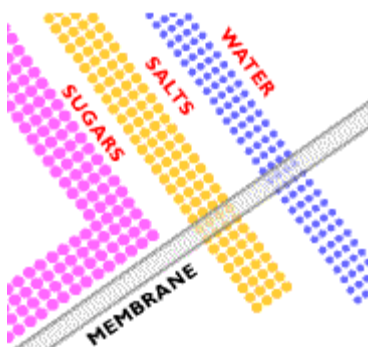
Figura 2 – Esquema de um processo de nanofiltração [4]

Este tipo de processo pode ser usado na recuperação de moléculas e na indústria química para purificar químicos, por exemplo. [9]

Na indústria alimentar a nanofiltração tem vários usos. É utilizada para concentrar soros de leite e na produção de adoçantes alternativos.

Relacionando agora com o ambiente, NF pode ter várias utilidades tais como a remoção de metais pesados de correntes para posterior reutilização de água, remoção de herbicidas

presentes em caudais de água. [10]

2.2.3 Osmose inversa

A osmose inversa trata-se de um processo de separação em que um solvente é separado de um soluto de baixa massa molecular por uma membrana permeável ao solvente e impermeável ao soluto. Este processo apenas é possível quando se aplica uma elevada pressão sobre o meio aquoso, contrariando o fluxo natural da osmose, daí a designação "osmose inversa". Neste processo de separação podem ser utlizados diversos tipos de membranas que têm a capacidade de reter partículas cujo diâmetro varia entre 1 e 10 å. Como já foi referido, as partículas retidas são solutos de baixa massa molecular como sais ou moléculas orgânicas simples. A pressão osmótica das soluções é proporcional à concentração de soluto. Para que a produção de permeado seja razoável, a diferença de pressão hidrostática através da membrana tem que ser elevada, para água, varia entre 3 e 100 atm(2). [9]

Na Figura 3 é apresentado um esquema do processo de osmose inversa.
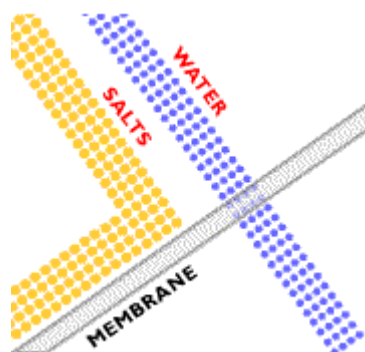
Figura 3 – Esquema de um processo de osmose inversa [4]

A osmose inversa (OI) é um PSM frequentemente utilizado na dessalinização, no reuso e no tratamento de águas, sendo considerada um possível meio de resolução do problema da escassez mundial de água potável, uma das principais preocupações ambientais deste novo século. Embora a OI seja um processo em escala industrial, existem ainda algumas limitações que podem ser superadas com o desenvolvimento de novos tipos de membranas. [9]

Comparada ao processo de permuta iónica, muito utilizado para a remoção de iões em águas industriais, a osmose inversa tem a vantagem de dispensar a etapa de regeneração, um processo que interrompe a produção e ao mesmo tempo consome uma grande quantidade de produtos químicos (ácidos e bases fortes). Como desvantagem existe a geração de um fluxo de rejeitado, solução com elevadas concentrações de sais em

volumes de até 50% da alimentação total. [11]

2.2.4 Ultrafiltração

Outro dos processos de separação por membranas é a ultrafiltração (UF), que consiste num processo de fracionamento seletivo, tendo sido usado na experiência laboratorial deste trabalho. Esta técnica é cada vez mais utilizada, pois apresenta grandes vantagens como a alta eficiência e o baixo custo de operação.

É um processo de purificação impulsionado por uma pressão tangencial (0,5 – 5 bar), no qual a água e substâncias de baixo peso molecular penetram por uma membrana e as partículas, colóides e macromoléculas são rejeitadas. O fluxo através da membrana semipermeável é conseguido por meio da aplicação de um gradiente de pressão entre as paredes interna e externa da estrutura da membrana. [12]

Na Figura 4 é apresentado um esquema do processo de ultrafiltração.
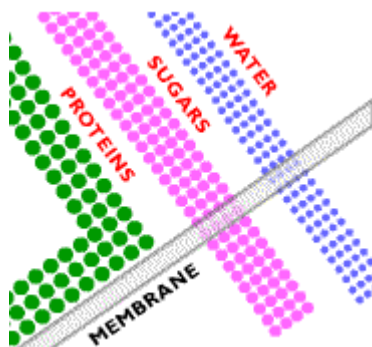
Figura 4 – Esquema de um processo de ultrafiltração [4]

O que diferencia a ultrafiltração dos outros processos é o tamanho das partículas retidas e as caraterísticas da própria membrana. No caso da UF, as membranas são assimétricas, na forma de uma fibra oca e microporosas com diâmetros de poros que variam entre 1 e 500 nm. [5]

Os módulos de ultrafiltração são compostos por várias centenas de fibras ocas, pelo que a área superficial é suficientemente grande para garantir um fluxo de produção.

Na UF, a filtração é do tipo externo-interno, o que significa que a água filtrada será retida no interior das fibras ocas, sendo que os sólidos suspensos, os microrganismos e os vírus são retidos na superfície externa das fibras. [10]

Na literatura é por vezes utilizado o conceito de corte (“Cut-off”) de modo a fornecer especificações em relação as características de rejeição, indicando o limite de exclusão molecular, referindo a massa molar dos solutos a partir da qual a rejeição é superior a 90%.

O processo de UF pode ser operado em modo contínuo ou em modo descontínuo.

Na operação em contínuo, parte da corrente do retido é reaproveitada para o tanque de alimentação ao módulo. Este modo de operação é normalmente empregue em processos de UF à escala industrial, com áreas de membrana superiores a 100 m^2. Já a operação em descontínuo, constitui o modo de operação mais comum em instalações laboratoriais e à escala piloto. Nesta operação o permeado é recolhido continuamente e a corrente de retido é reintroduzida no tanque de alimentação. [5]

A UF é a barreira mais eficiente para a remoção de sólidos em suspensão, bactérias, vírus e outros microrganismos patogénicos tendo várias aplicações tais como:

(1) - tratamento de efluentes de laticínios, onde as proteínas do soro do leite são retiradas por UF, enquanto a lactose e os compostos de baixo peso molecular passam através da membrana, sendo assim reaproveitados;

(2) - recuperação de concentrados de óleo, cuja técnica é usada na indústria metalúrgica. Nesta situação, a filtração dos efluentes produz uma corrente de água limpa, que pode ser tratada ou descarregada diretamente no sistema de drenagem, dependendo das suas condições, e um concentrado de óleo que pode ser reintegrado no processo;

(3) - no tratamento biológico de águas residuais poderá ser utilizado um processo de UF como alternativa à etapa de decantação e operar a maiores concentrações por forma a aumentar a razão volume/tempo, pois a UF é um processo de baixo consumo de energia e alta eficiência de filtração;

(4) - produção de água industrial ou para consumo humano. A UF permite a redução do tamanho da estação de tratamento, bem como a diminuição do consumo de energia, dos químicos adicionados e da produção de lamas;

(5) - tratamento da superfície, pois o excesso de tinta tem de ser retirado através da lavagem, sendo que a UF permite a recuperação da agua e da tinta para reutilização, reduzindo significativamente a produção de água e a produção de águas residuais;

(6) - amplamente utilizada no pré-tratamento de Osmose Inversa (OI) para aplicações com distintas fontes de água, a UF adapta-se bem a mudanças complexas e oferece água de alimentação de alta qualidade para sistemas de OI, garantindo operações estáveis e ampliando o tempo de vida útil da OI;

(7) - a UF consegue remover até 99,9% das bactérias e a maioria dos vírus, sendo particularmente efetiva no combate aos microrganismos resistentes ao cloro, como *Cryptosporidium* e *Giárdia*. Com essa alta eficiência de filtração, a UF é uma excelente barreira para aplicações de água potável;

(8) - pasteurização de xaropes de glicose;

(9) - purificação de líquidos;

(10) - concentração de produtos derivados do ovo;

(11) - tratamento de efluentes em queijarias;

(12) - tratamento de ácidos, efluentes de látex e gelatinas. [2] [12]

3. Material e métodos:

O trabalho experimental realizado tem como base o tratamento de um efluente produzido em laboratório para simular um efluente industrial com uma concentração de óleo de corte de 5%.

Na realização deste trabalho utilizamos uma instalação experimental de ultrafiltração mostrada abaixo na figura 5.
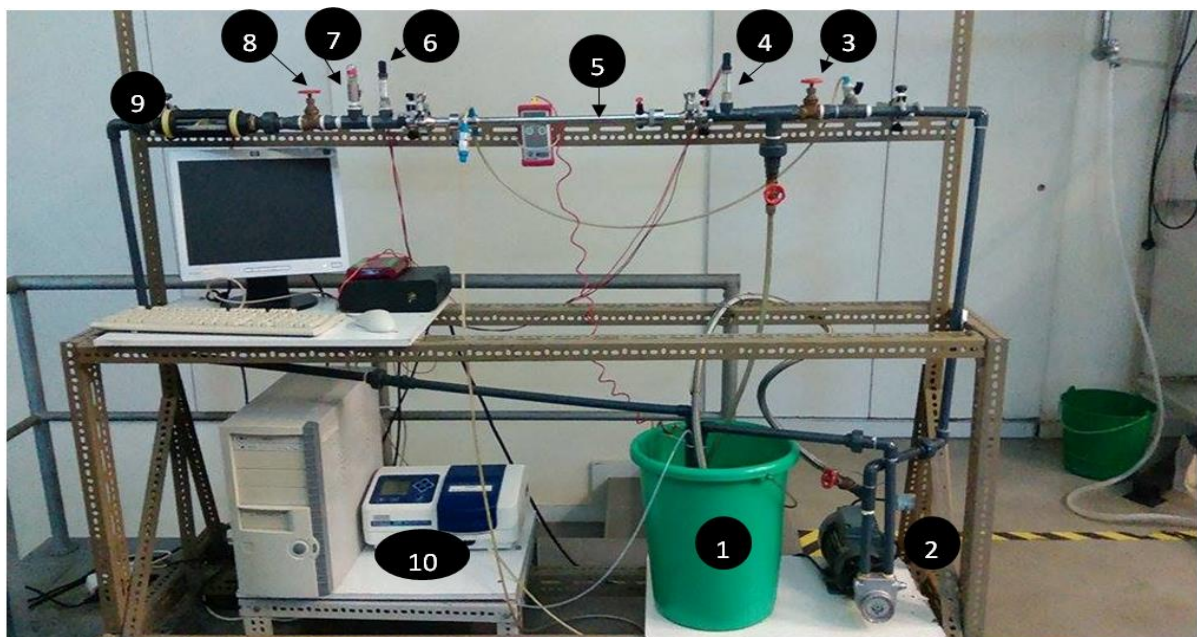
Figura 5 – Instalação experimental da ultrafiltração

Esta instalação era composta por uma bomba de deslocamento positivo (2); caudalímetro (9); espectrofotómetro (10); módulo de membranas (5); sensores de pressão (4 e 6); tanque de recirculação (1); válvula de segurança (7); válvula 1 (3) e válvula 2 (8). Para além desta instalação utilizamos uma proveta de 5ml (1ª experiência), uma proveta de 10ml (2ª experiência) e um cronómetro.

Instalação experimental e modo de operação:

Na figura 5 apresenta-se um esquema da instalação experimental o módulo de separação é constituído por uma membrana tubular e a filtragem será tangencial.

Com vista ao tratamento de efluente o líquido que atravessa a membrana é denominado permeado, enquanto o que permanece no interior constitui o retido. Na unidade experimental de ultrafiltração, ambas as correntes foram continuamente introduzidas no tanque de recirculação com a emulsão de água e óleo, para que não houvesse lançamento de efluentes nas redes de esgoto e para assegurar que a concentração de óleo se mantivesse.

Para variar a pressão no interior da membrana tubular utilizou-se a válvula 2, enquanto a válvula 1 permaneceu completamente aberta para que a corrente de alimentação seja filtrada.

Procedimento experimental:

O procedimento experimental iniciou-se pela calibragem do espectrofotómetro, tendo-se introduzido água destilada na célula e desligado as tubagens que a ligam à unidade laboratorial. Verificou-se que o comprimento de onda era de 734 nm (valor máximo de absorvância característico desta suspensão).

A válvula da pressão foi regulada de acordo com as experiências. Na experiência 1 utilizou-se uma pressão de aproximadamente 1,0 bar e na experiência 2 uma pressão de aproximadamente 2,75 bar.

As medições do caudal de permeado foram feitas em intervalos de 5 minutos, dos 0 aos 25 minutos, ou seja 6 medições. Registou-se o volume numa proveta acumulado ao fim de 30 segundos (proveta de 5 ml na primeira experiência e proveta de 10ml na segunda experiencia), bem como a temperatura para cada intervalo de tempo.

Após a calibração do espectrofotómetro e a ligação das tubagens da unidade laboratorial à célula do espectrofotómetro, foram recolhidas seis amostras, para duas tomadas de pressão relativa distintas (na experiência 1 a pressão era de 0,99 bar e na

experiência 2 a pressão era de 2,74bar), com um determinado intervalo de tempo específico (30 segundos) calculou-se o volume de modo a ser calculado o caudal de permeado obtido, através da fórmula: Qexp =$\frac{V}{t}$. Assim sendo, através do registo do volume, do intervalo de tempo e da temperatura, construiu-se uma tabela com o valor do caudal de cada experiência e o valor da rejeição, calculado através da fórmula: Rejeição= $(1-\frac{Cp}{Cali})*100$.

4. Resultados e discussão

Apresentam-se nas tabelas 1 e 2 seguintes os resultados obtidos:

Tabela 1 – Resultados experimentais da experiência 1, valores do caudal e da rejeição

Experiência 1:					
t (minutos)	**T (°C)**	**t (s)**	**V (ml)**	**Qexp (l/min)**	**Rejeição %**
0	23,6	5,90E+02	1,3	0,0026	94,8
5	25	8,82E+02	1,1	0,0022	95,6
10	26,4	1,18E+03	1,3	0,0026	94,8
15	27,6	1,48E+03	1,1	0,0022	95,6
20	28,8	1,78E+03	1,4	0,0028	94,4
25	29,9	2,08E+03	1,4	0,0028	94,4

Tabela 2 – Resultados experimentais da experiência 2, valores do caudal e da rejeição

Experiência 2:					
t (minutos)	**T (°C)**	**t (s)**	**V (ml)**	**Qexp (l/min)**	**Rejeição %**
0	31,7	2,39E+03	5,4	0,0108	78,4
5	34	2,69E+03	6,2	0,0124	75,2
10	36,2	2,99E+03	6	0,012	76
15	38,3	3,29E+03	6,3	0,0126	74,8
20	40,2	3,59E+03	6,6	0,0132	73,6
25	41,9	3,89E+03	6,5	0,013	74

Recorrendo aos valores das tabelas 1 e 2 é possível verificar que a pressão influencia o caudal ao longo do tempo, sendo que, quanto maior a pressão maior será o caudal obtido. Isto verifica-se, pois num mesmo intervalo de tempo, com o aumento da pressão, o volume de água filtrada é maior, tornando o processo mais rápido. É possível verificar que o aumento da temperatura influencia o processo de filtração, pois quanto maior a temperatura, menor a será a viscosidade e maior o caudal obtido.
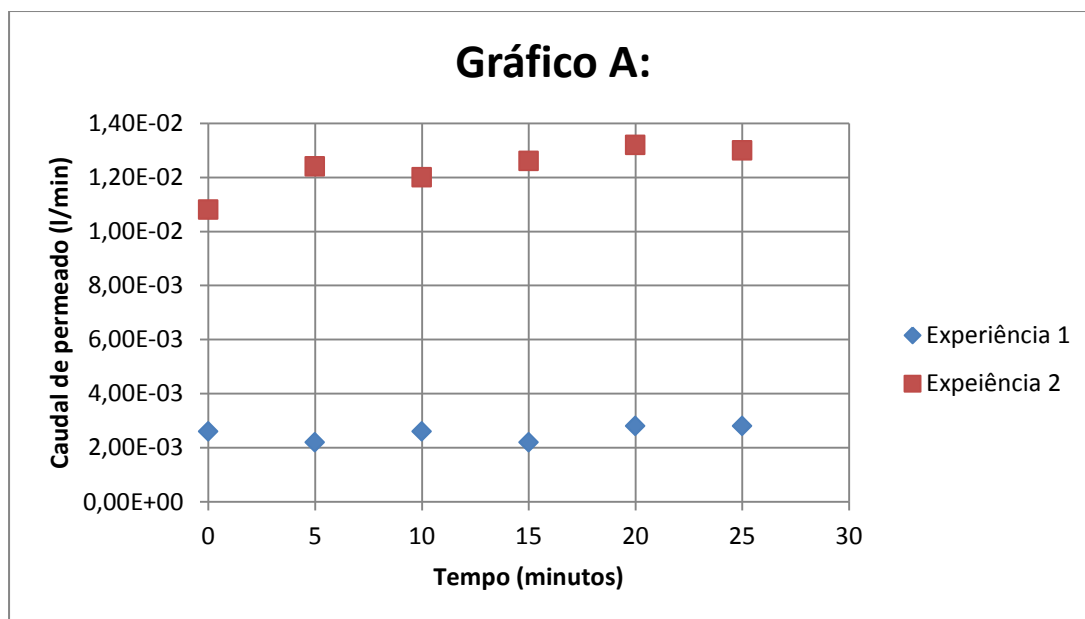
Figura 6 – Gráfico A: Caudal vs Tempo com as pressões de cada experiência
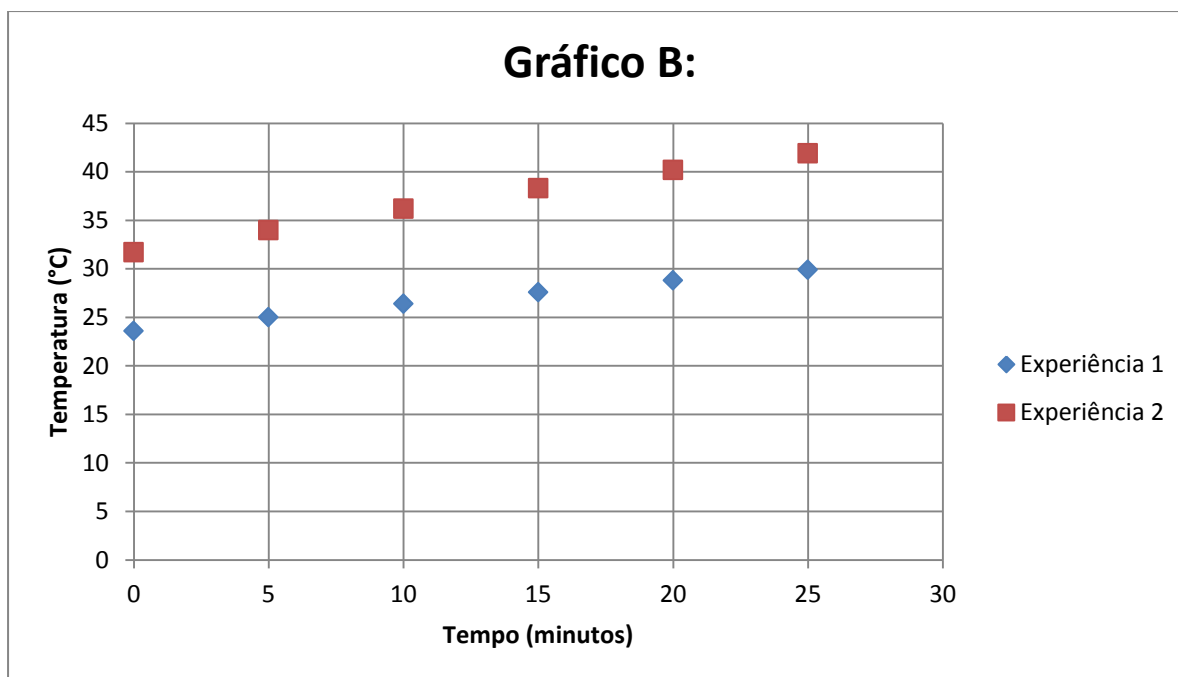
Figura 7- Gráfico B: Temperatura vs Tempo nas duas experiências
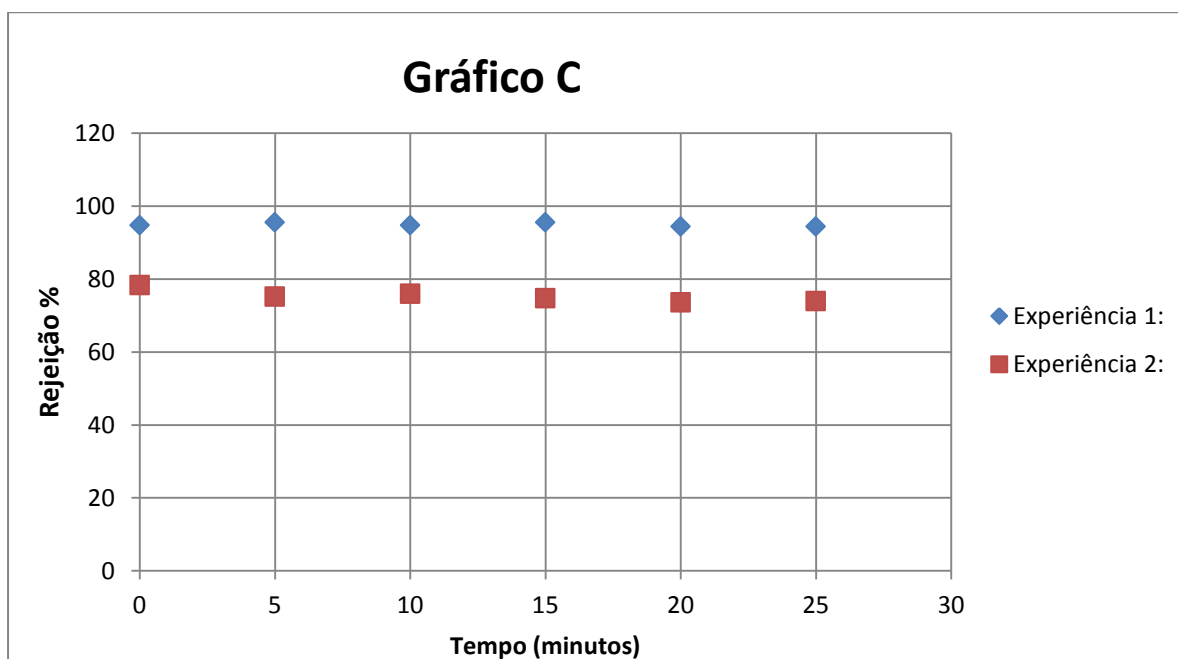
Figura 8 - Gráfico C: Rejeição em percentagem vs tempo em ambas as experiências

Em relação à figura 6 verifica-se que o caudal na experiencia 1 é maior que o caudal da experiencia 2 devido às suas diferentes pressões, ou seja, como já foi referido quanto maior pressão maior será o caudal. Em relação à figura 7 verifica-se que ao longo do tempo a temperatura vai aumentando, o que ajuda na filtração. Em relação à figura 8 verifica-se que quanto maior a pressão maior será a percentagem do rejeitado.

Quanto aos valores de rejeição, estes foram elevados na experiência 1, revelando-se um pouco mais baixos na experiência 2. Estes valores elevados indicam uma boa eficiência da membrana, em evitar que passe soluto para a corrente do permeado.

Em relação aos dados que foram registados por meios eletrónicos, indica-se como varia a concentração com o aumento da absorvância.

Pela legislação Portuguesa, de acordo com o decreto-lei 236/980 de 1 de Agosto, no Anexo XVIII é referido que 15mg/l é o limite legal para a concentração de óleo em águas residuais. Deste modo, o permeado obtido nesta atividade laboratorial não apresenta qualidade suficiente para ser descarregado na natureza, uma vez que a concentração do óleo é bastante superior à permitida, mesmo sendo alta a rejeição obtida. [13]

Apesar de o caudal de permeado aumentar com o aumento da pressão, obtém-se um permeado com uma pior qualidade. O aumento da pressão influencia negativamente a filtração, pois a pressão exercida na membrana faz aumentar a quantidade de partículas que passa através desta, obtendo-se uma água com um menor nível de pureza.

5. Conclusões

A ultrafiltração é uma técnica que é cada vez mais usada devido à sua alta eficiência, aos seus reduzidos custos operacionais e a outras vantagens.

Hoje em dia este processo de separação por membranas é usado na indústrias em campos tão diversos como o tratamento de efluentes lácteos, a recuperação de concentrados de óleo, o tratamento de águas industriais ou residuais, entre outros.

Com o trabalho experimental realizado é possível concluir, tal como referido anteriormente que apesar das altas taxas de rejeição (na ordem dos 95% na experiência 1 e na ordem dos 80% durante a 2) o valor da concentração continua a ser superior ao valor permitido pela legislação portuguesa na medida em que esta apenas permite como valor máximo uma concentração de 15mg/L no permeado e na experiência laboratorial obtiveram-se valores que variaram entre aproximadamente 408 mg/L e 19713 mg/L valores que ultrapassam largamente a legislação podendo-se então concluir que para que os efluentes sejam corretamente filtrados estes carecem de outros tratamentos. Existem portanto, vantagens e desvantagens no aumento da pressão, sendo necessário criar um equilíbrio entre a rapidez e a qualidade do processo de ultrafiltração.

6. Referências Bibliográficas

[1] - Departamento de Engenharia Química da FCTUC, “O Portal de Laboratórios Virtuais de Processos Químicos,” 2007. [Online]. Available: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?Itemid=206&id=57&option=com_content&task=view#2. [Acedido em 13 Outubro 2014].

[2] - M. Ribau-Teixeira e M. J. Rosa, “Recuperação de água industrial utilizando tecnologia de membranas,” 1998. [Online]. Available: https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/1119/1/Artigo_Ribau%20and%20Rosa_Tomar.pdf. [Acedido em 12 Outubro 2014].

[3] - DEM - Instituto Superior Técnico, “DEM - Termofluidos e tecnologias de transmissão de calor,” 2009. [Online]. Available: http://www1.dem.ist.utl.pt/acttce/Membranas_TTCE.html. [Acedido em 13 Outubro 2014].

[4] - GEA Group, “GEA Filtration,” 2013. [Online]. Available: http://www.geafiltration.com/Portuguese/Tecnologia/Processos_Membranas_Filtracao.htm. [Acedido em 12 Outubro 2014].

[5] - J. Mendes Carvalho, “Recuperação de ácido láctido por filtração tangencial.,” Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Dezembro 2008. [Online]. Available: https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/244374/1/Tese_Dissertacao_De_Mestrado.pdf. [Acedido em 10 Outubro 2014].

[6] - A. C. Habert, C. P. Borges e R. Nobrega, Processos de Separação por Membranas, Brasil: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2006.

[7] - G. Group, “Gea Filtration - Tipos de membranas,” 2013. [Online]. Available: http://www.geafiltration.com/Portuguese/Tecnologia/Tipos_de_Membranas.htm. [Acedido em 12 Outubro 2013].

[8] - A. d. Aquino, “Meio Filtrante,” 2011. [Online]. Available: http://www.meiofiltrante.com.br/materias_ver.asp?action=detalhe&id=740&revista=n53. [Acedido em 10 Outubro 2014].

[9] - C. P. B. R. N. Roberto B. de Carvalho, “Formação de Membranas Planas Celulósicas,” 2001. [Online]. Available: http://www.scielo.br/pdf/po/v11n2/6155.pdf. [Acedido em 9 Outubro 2014].

[10] - K. Sutherland, “Filtration Separation,” 18 Março 2009. [Online]. Available: http://www.filtsep.com/view/717/what-is-nanofiltration/. [Acedido em 10 Outubro 2014].

[11] - Azulimenso. [Online]. Available: http://netsearch.pt/purificadores-tratamento-agua/. [Acedido em 13 Outubro 2014].

[12] - DOW, “Princípios Básicos da Ultrafiltração,” 2014. [Online]. Available: http://oilandgas.dow.com/pdf/rio/Dow_Ultrafiltration.pdf. [Acedido em 13 Outubro 2014].

[13] - “Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto. Anexo XVIII – Valores Limite de Emissão (VLE) na descarga de águas residuais,” [Online]. Available: http://dre.pt/pdf1s/1998/08/176A00/36763722.pdf. [Acedido em 13 Outubro 2014].

Anexos

Anexo A

Neste anexo encontram-se as tabelas com os dados obtidos através de meios eletrónicos das duas experiências, juntamente com o gráfico que relaciona a absorvância com a concentração. Para além disso, apresentamos um exemplo de cálculo de cada fórmula que foi usada para a obtenção dos resultados.

Tabela A 1 – Dados da experiência 1 obtidos através de meios eletrónicos

Tempo (s)	Pressão (bar)	Caudal	Absorvância	Concentração (kg/L)	Rejeição (%)
2,25E+05	0.651	18.430	4,00E-03	4,09E-04	99,18
4,16E+05	0.651	19.421	1,20E-02	1,23E-03	97,55
5,64E+05	0.651	18.301	1,93E-01	1,97E-02	60,57
1,30E+06	0.658	18.574	5,20E-02	5,31E-03	89,38
1,44E+06	0.659	18.420	3,20E-02	3,27E-03	93,46
1,59E+06	0.658	18.408	2,50E-02	2,55E-03	94,89
1,74E+06	0.659	18.433	1,90E-02	1,94E-03	96,12
1,89E+06	0.654	18.415	1,80E-02	1,84E-03	96,32
2,04E+06	0.654	18.308	1,30E-02	1,33E-03	97,34
2,19E+06	0.653	18.587	1,00E-02	1,02E-03	97,96
2,22E+06	1.580	16.723	1,00E-02	1,02E-03	97,96

Tabela A 2 – Dados da experiência 2 obtidos através de meios eletrónicos

Tempo (s)	Pressão (bar)	Caudal	Absorvância	Concentração (kg/L)	Rejeição (%)
2,22E+06	2.029	15.879	9,00E-03	9,19E-04	9,82E+01
2,37E+06	2.750	11.836	7,80E-02	7,97E-03	8,41E+01
2,52E+06	2.754	11.612	1,09E-01	1,11E-02	7,77E+01
2,67E+06	2.751	11.516	1,23E-01	1,26E-02	7,49E+01
2,81E+06	2.744	11.850	1,04E-01	1,06E-02	7,88E+01
2,96E+06	2.754	11.639	1,65E-01	1,69E-02	6,63E+01
3,11E+06	2.750	10.764	3,50E-02	3,58E-03	9,28E+01
3,26E+06	2.764	11.977	1,45E-01	1,48E-02	7,04E+01
3,53E+06	2.763	11.685	1,35E-01	1,38E-02	7,24E+01
3,83E+06	2.748	11.873	1,69E-01	1,73E-02	6,55E+01
3,95E+06	2.747	11.638	1,57E-01	1,60E-02	6,79E+01
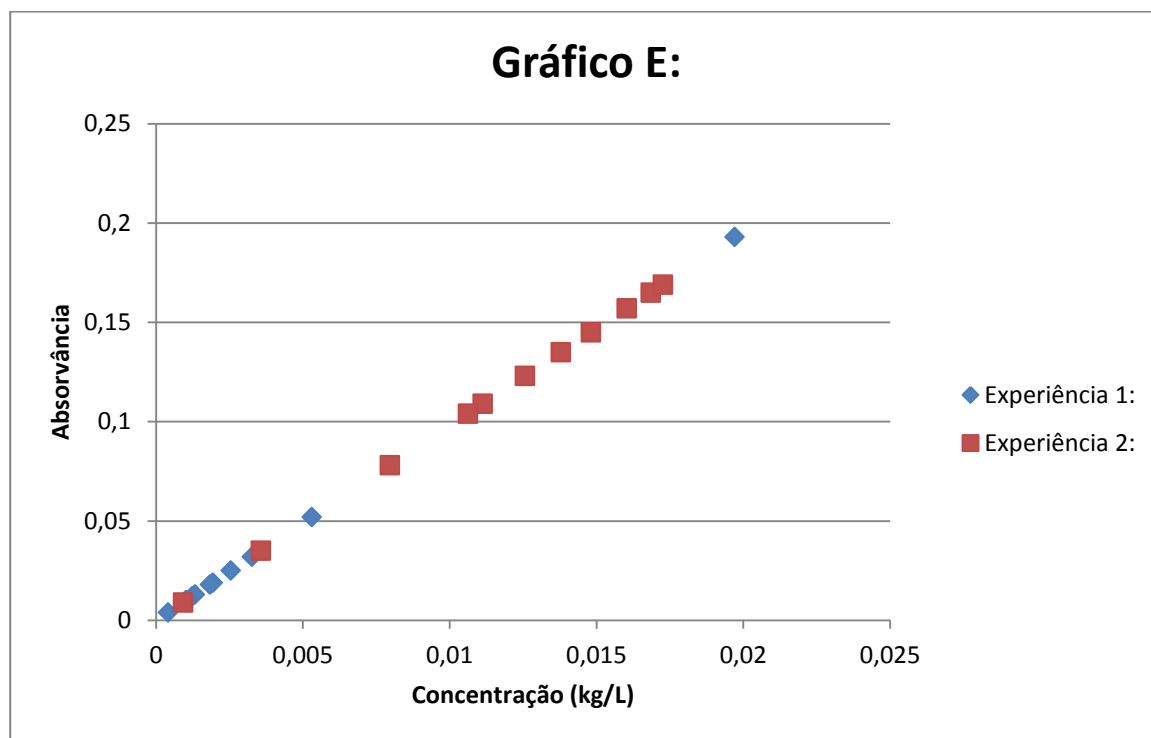
Figura A 1 - Gráfico E: Absorvância vs concentração em ambas as experiências

Qexp= $\frac{1,3*10^{-3}}{0,5} = 2,60 * 10^{-3}\ l/min$

Concentração= $\frac{4*10^{-3}}{9,79} = 4,09 *\ 10^{-4}\ mg/l$

Rejeição (%)=$\frac{2,60*10^{-3}}{0,05} * 100 = 94,8\%$